

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re patent application of

S. Kittaka and M. Taniyama

Serial No.: (no assigned)

Examiner: not yet assigned

Filing Date: February 8, 2002

Group Art Unit: Unknown

For: Method for Measuring Gradient Index Distribution of Rod Lens

Assistant Commissioner of Patents
Washington, D.C. 20231

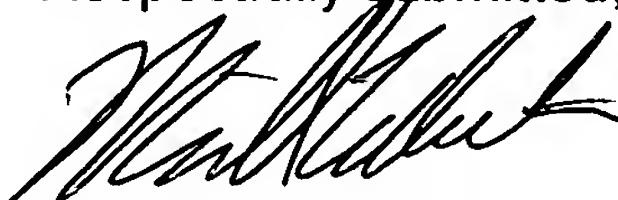
Jc474 U.S. PTO
10/067858
02/08/02

SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT

Sir:

Submitted herewith is a certified copy of Japanese Patent Application Number P2001-33899 dated February 9, 2001 which application the claim for priority is based.

Respectfully submitted,



Michael E. Whitham
Registration No. 32,635
703-787-9400



30743

PATENT TRADEMARK OFFICE

Dated: Feb. 8, 2002

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日
Date of Application: 2001年 2月 9日

出 願 番 号
Application Number: 特願2001-033899

[ST.10/C]: [JP2001-033899]

出 願 人
Applicant(s): 日本板硝子株式会社

2002年 1月25日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2002-3000658

【書類名】 特許願

【整理番号】 PX1006

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G01N 21/41

【発明者】

 【住所又は居所】 大阪府大阪市中央区北浜四丁目 7 番 2 8 号 日本板硝子株式会社内

 【氏名】 橋高 重雄

【発明者】

 【住所又は居所】 大阪府大阪市中央区北浜四丁目 7 番 2 8 号 日本板硝子株式会社内

 【氏名】 谷山 実

【特許出願人】

 【識別番号】 000004008

 【氏名又は名称】 日本板硝子株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100078961

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 茂見 穰

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 013457

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

 【包括委任状番号】 9004719

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 ロッドレンズの屈折率分布測定方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 半径方向に屈折率分布を有し、その屈折率分布 $n(r)$ が、

$$n(r)^2 = n_0^2 \cdot \{1 - (g \cdot r)^2 + h_4 (g \cdot r)^4 + h_6 (g \cdot r)^6 + h_8 (g \cdot r)^8 + \dots\}$$

但し、

r : 光軸から測った半径方向の距離

n_0 : 光軸上での屈折率

g : 2 次の屈折率分布係数

h_4, h_6, h_8 : 高次の屈折率分布係数

で表されるロッドレンズについて、その屈折率分布を表す高次の屈折率分布係数を、以下の手順によって求めることを特徴とするロッドレンズの屈折率分布測定方法。

(1) ロッドレンズを、その光軸方向の長さが $P/2$ (但し、 P は近軸における周期長 (ピッチ) を表す) もしくはその整数倍にほぼ等しく、両端面が平行平面となるように加工する。なお、周期長 P は、 $P = 2\pi/g$ により定義される。

(2) 該ロッドレンズの一方の端面近傍を物体面としてパターン面を設置し、該パターン面に集光した単色光を照射することにより、他方の端面近傍に像面を形成する。

(3) 該像面を観察して、近軸焦点位置と像面湾曲カーブを求める。

(4) 近軸焦点位置と像面湾曲カーブから、フィッティング処理により高次の屈折率分布係数を逆算して求める。

【請求項 2】 パターン面は、多数本の直線状の筋が平行に配列された縞状もしくは多数本の直線状の筋が縦横に平行に配列された格子状をなし、レンズ中心から筋の配列方向について複数の筋の焦点位置を測定して、レンズ光軸からの距離に対するメリジオナル像面の像面湾曲カーブを求める請求項 1 記載のロッドレンズの屈折率分布測定方法。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

本発明は、ロッドレンズの屈折率分布を測定する方法に関し、更に詳しく述べると、屈折率分布型ロッドレンズの高次の屈折率分布係数を、像面湾曲の測定によって求めるロッドレンズの屈折率分布測定方法に関するものである。本発明方法は、特に小口径ロッドレンズの光学性能の評価などに有用な技術である。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

屈折率分布型ロッドレンズは、周知のように、光軸に対称な屈折率の分布を持たせた円柱状の透明体からなるレンズである。屈折率は、光軸上で高く、周辺に向かって連続的に減少するように分布している。この種の屈折率分布型ロッドレンズは、小型化・軽量化できるため、光通信システムや光計測制御システムなどでコリメータレンズ等として用いられている他、多数を規則的に配列しアレイ状にしたレンズアレイは、複写機、ファクシミリ、プリンタなどのスキャンニング光学系として使用されている。

【 0 0 0 3 】

円柱状の透明体（ガラスロッド）に屈折率分布を付与する方法としては様々な方法が提案されているが、最も実用化されているのはイオン交換法である。これは、高屈折率イオンを含むガラスロッドを、低屈折率イオンを含む溶融塩中に浸漬して、各々のイオンを相互拡散させることにより、イオンの濃度分布にほぼ比例した屈折率分布を形成する方法である。

【 0 0 0 4 】

この種のロッドレンズの光学的性能は、主として屈折率分布の形状により左右されるので、この分布を制御してレンズを製作する必要がある。そのためには、屈折率分布を精密に測定することが必要である。また、屈折率分布係数は、イオン交換のばらつき評価やレンズ設計の基本データとして、あるいはロッドレンズを用いたシステムの設計に極めて重要である。

【 0 0 0 5 】

従来、屈折率分布型ロッドレンズの屈折率分布を求める方法としては、 $P/4$

(但し、Pは近軸における周期長を表す) レンズの球面収差を測定して逆算する方法が用いられている(「屈折率分布型レンズの収差測定と解析」光学第11巻第6号(1982年12月)参照)。

【0006】

ロッドレンズにおいても、レーザ光の軌跡を直接測定することにより球面収差を求めることができる。即ち、被検レンズの一端面から入射したレーザ光は、被検レンズを通過して他端面から出射するので、出射光線を観測することで光線の軌跡が求まる。入射位置を変えて測定を繰り返すことで、出射光線束が得られ、球面収差を求めることができる。前記従来の方法は、屈折率分布型ロッドレンズの屈折率分布を高次項まで考慮して、光線方程式を摂動法により解き、平行入射に対する近似解を求め、この近似解を適用してレンズの球面収差を測定することにより、屈折率の分布定数を求める方法である。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、このような従来球面収差測定による方法は、ロッドレンズの半径方向で入射位置を変えて測定を繰り返す必要があるため、特に直径1mmφ程度以下の小口径ロッドレンズに対しては球面収差の測定が困難になる。しかし、近年の各種光デバイスの小型化に伴い、それに組み込むロッドレンズにはますます小口径化が要求されており、そのため従来方法では屈折率分布係数を求めることが難しくなっている。

【0008】

また、従来方法では、光源としてレーザ光を必要とするため、測定波長が使用するレーザの波長に限られるという問題もある。

【0009】

本発明の目的は、小口径のロッドレンズであっても高精度で高次の屈折率分布係数を求めることができ、測定波長も比較的自由に選ぶことができるようなロッドレンズの屈折率分布測定方法を提供することである。

【0010】

【課題を解決するための手段】

本発明は、半径方向に屈折率分布を有し、その屈折率分布 $n(r)$ が、

$$n(r)^2 = n_0^2 \cdot \{1 - (g \cdot r)^2 + h_4 (g \cdot r)^4 + h_6 (g \cdot r)^6 + h_8 (g \cdot r)^8 + \dots\}$$

但し、

r : 光軸から測った半径方向の距離

n_0 : 光軸上での屈折率

g : 2 次の屈折率分布係数

h_4, h_6, h_8 : 高次の屈折率分布係数

で表されるロッドレンズについて、その屈折率分布を表す高次の屈折率分布係数を、以下の手順によって求めるロッドレンズの屈折率分布測定方法である。

(1) ロッドレンズを、その光軸方向の長さが $P/2$ (但し、 P は近軸における周期長 (ピッチ) を表す) もしくはその整数倍にほぼ等しく、両端面が平行平面となるように加工する。なお、周期長 P は、 $P = 2\pi/g$ で定義される。

(2) 該ロッドレンズの一方の端面近傍を物体面としてパターン面を設置し、該パターン面に集光した単色光を照射することにより、他方の端面近傍に像面を形成する。

(3) 該像面を観察して、近軸焦点位置と像面湾曲カーブを求める。

(4) 近軸焦点位置と像面湾曲カーブから、フィッティング処理により高次の屈折率分布係数を逆算して求める。

【0 0 1 1】

ここで、パターン面は、多数本の直線状の筋が平行に配列された縞状もしくは多数本の直線状の筋が縦横に平行に配列された格子状をなし、レンズ中心 (光軸) から筋の配列方向について複数の筋の焦点位置を測定して、レンズ光軸からの距離に対するメリジオナル像面の像面湾曲カーブを求めるのが好ましい。

【0 0 1 2】

【発明の実施の形態】

本発明では、典型的には、ほぼ $P/2$ (但し、 P はピッチであり、近軸におけるレンズ内の蛇行周期長を表す) レンズの像面湾曲 (特に、メリジオナル方向) のカーブを測定して、その曲線にフィットするようにソフトウェア的に屈折率分

布係数を逆算する。

【 0 0 1 3 】

図 1 に示すように、 $P/2$ ロッドレンズの端面－端面結像の場合、物体面と像面はロッドレンズをはさんで対称な位置関係となるため、非対称性に起因するコマ収差と歪曲は発生せず、像の収差は球面収差と像面湾曲（サジタル方向とメリジオナル方向）だけとなる。従って、球面収差が極端に大きいレンズでないかぎり像面湾曲を精密に測定することができる。

【 0 0 1 4 】

なお、レンズ長が $P/2$ の n 倍（ n は整数、即ち、 $1P$ 、 $1.5P$ 、 $2P$ 、 \dots ）のロッドレンズを使用すると収差量も n 倍になるので、測定精度を上げることができる。しかし、球面収差の大きいレンズや脈理、非対称性のあるレンズは、かえって像のボケが大きくなり測定が困難になるので、レンズに応じて n の値は適宜選定する必要がある。ここで、もし、レンズ長が $P/4$ のロッドレンズを用いると、パターンを遠方に設置することになり、結像はコマ収差の影響でメリジオナル像面の測定が困難になるので、そのようなレンズ長のレンズを用いることは不適當である。

【 0 0 1 5 】

屈折率分布係数と像面湾曲の関係を示す例として、以下の仕様の $P/2$ ロッドレンズの像面湾曲を計算した。

（モデルレンズの仕様）

有効半径 $r_0 = 0.125 \text{ mm}$

光軸上での屈折率 $n_0 = 1.682$

g 値 $= 3.15 / \text{mm}$

レンズ長 $Z = 0.997 \text{ mm}$ ($P/2$)

物体面と像面：ロッドレンズの両端面

物体高： 0.125 mm

【 0 0 1 6 】

（光路図と像面湾曲）

屈折率分布係数 h_4 が -1 ， $+0.67$ ， $+2$ の各場合について、その光路図と

像面湾曲カーブを図 1 に示す。

$h_4 = -1.0$ の時は、メリジオナル像面 (M)、サジタル像面 (S) 共にマイナスとなる。

$h_4 = +0.67$ の時は、メリジオナル像面 (M) はほとんどフラット、サジタル像面 (S) はマイナスとなる。

$h_4 = +2.0$ の時は、メリジオナル像面 (M)、サジタル像面 (S) 共にプラスとなる。

【 0 0 1 7 】

図 1 から分かるように、メリジオナル像面 (M) の方がサジタル像面 (S) よりも h_4 に対する変化量が大きいため、像面湾曲データはメリジオナル像面で測定した方が精度が良くなる。また、縞状パターンを使用する場合は、メリジオナル像面の方が見やすいので測定が容易となる。

【 0 0 1 8 】

測定装置の一例を図 2 に示す。本装置は、主として、上下微動可能なステージ 10 と、該ステージ 10 の高さを測定するリニアゲージ 12 と、ステージ下方に位置する光源 14 と、ステージ上方に位置する顕微鏡 16 などからなる。ステージ 10 の上に透明な平行縞状パターン 18 を設置し、その上に被検レンズ 20 を設置する。平行縞状パターン 18 のピッチはレンズ直径の $1/20$ 程度とし、平行縞状パターン 18 をステージ 10 に縦縞になるように設置する。また被検レンズ 20 は、長さが約 $P/2$ ロッドレンズであり、両端面は光軸に垂直な平面に整形されているものとする。光源 14 からの照明光を、干渉フィルタ 22 で測定波長の単色光にし、集光レンズ 24 で被検レンズ 20 の下端面に集光する。集光レンズ 24 の出射側には絞り 26 を設け、照明光の NA (開口数) を 0.1 程度とする。そして、顕微鏡 16 は被検レンズ上端面全体が見える倍率にし、被検レンズ 20 の上端面近傍の像面を顕微鏡 16 で観察する。

【 0 0 1 9 】

測定に際しては、まずレンズ長を正確に測定し、またレンズの中心屈折率 n_0 の値を測定しておく。小口径レンズを測定するために顕微鏡対物レンズの倍率を高く (即ち NA を大きく) すると、レンズの球面収差を拾うので像のボケや焦点

移動が発生して測定精度が低下することがある。これを防ぐために、照明光のNAを、例えば0.1程度と小さくし、拡散板などは使用しないのがよい。顕微鏡対物レンズのNAが0.1程度以下であれば、NAの大きい光線はカットされるので上記のような配慮は不要である。

【 0 0 2 0 】

屈折率分布係数の近似値は、市販の光学設計用ソフトウェアを用いて逆算することができる。例えば、米国Sinclair Optics社の「Oslo Six」などが利用できる。

【 0 0 2 1 】

なお上記の例において、物体面に位置するパターン面は、図3のAに示すような多数本の直線状の筋が等間隔で平行に配列された縞状パターンであったが、図3のBに示すように、多数本の直線状の筋が縦横に等間隔で平行に配列された格子状パターンとしてもよい。

【 0 0 2 2 】

高次の屈折率分布係数 h_4 ， h_6 ， h_8 の決定手順を図4に示す。

【 0 0 2 3 】

(測定準備)

- ・被検レンズ（両端は平面、レンズ長はほぼ $P/2$ ）のレンズ長 Z を正確に測定する。
- ・レンズの中心屈折率 n_0 の値を測定しておく。
- ・図2に示す測定装置のパターン面の上に被検レンズを置く。
- ・顕微鏡の倍率をレンズ端面全体が見える倍率にする。

【 0 0 2 4 】

(像面湾曲の測定)

- ・レンズ端面をリニアゲージの原点として、レンズ中央での近軸焦点位置 Δf_0 を測定する（レンズの外側をプラス、内側をマイナスとする）。
- ・同様に、光軸からの距離 r_1 ， r_2 ， r_3 、…に対応する、各縞のピント位置（メリオジナル焦点位置） Δf_1 ， Δf_2 ， Δf_3 、…を測定する。

【 0 0 2 5 】

(設計ソフトウェアでの初期パラメータ設定)

- ・ レンズ半径：被検レンズの実測値
- ・ 光軸上での屈折率 n_0 ：被検レンズの実測値
- ・ レンズ長 z ：被検レンズの実測値
- ・ 屈折率分布係数 g 値： π/Z を初期値とする。
- ・ h_4 , h_6 , h_8 ：全て 0 とする。
- ・ 物体面：レンズの一方の端面に一致させる。
- ・ 像面：レンズの他方の端面から近軸焦点位置 Δf_0 だけ離れた位置とする。
- ・ 物体面での光源は、テレセントリック構成とする（主光線が光軸と平行になる）。

【 0 0 2 6 】

(正確な g 値の決定)

- ・ g 値を微調整して、被検レンズの近軸焦点を像面と一致させる。

【 0 0 2 7 】

(物体高とメリジオナル焦点位置の設定)

- ・ 物体面上で、物体高 r_1 , r_2 , r_3 , ... の各点を設定する。
- ・ 物体高 r_1 の点から出射した光束のメリジオナル焦点位置の目標値として、「像面からの距離 $z_1 = \Delta f_1 - \Delta f_0$ 」を設定する。
- ・ 同様に、 z_2 , z_3 , ... を設定する。

【 0 0 2 8 】

(最適化関数の定義)

- ・ 物体高 r_1 の点から出射した光束のメリジオナル焦点位置の計算値を z_1' , z_2' , z_3' , ... として、目標値との差

$$\Delta z_i = z_i' - z_i$$

を定義する。

- ・ 最適化関数（メリット関数）を

$$F = \Delta z_1^2 + \Delta z_2^2 + \Delta z_3^2 + \dots$$

とする。

【 0 0 2 9 】

(最適化計算処理)

・ 光学設計用ソフトウェアを用いて最適化計算処理を行う。即ち、 h_4 , h_6 , h_8 を変数として、最適化関数 F を最小化する。

【 0 0 3 0 】

【実施例】

測定結果の一例について説明する。被検レンズの仕様は下記の通りである。

レンズ外径：0. 2 5 mm ϕ

有効半径 $r_0 = 0. 1 2 5$ mm

長さ $Z = 1. 0 0 1$ mm (約 $P/2$)

中心屈折率 $n_0 = 1. 6 8 2$

5個の被検レンズ(同一ロット品)について測定した。

【 0 0 3 1 】

測定条件は次の通りである。

平行縞状パターン：1 0 0 ラインーペア/mm

測定波長： $\lambda = 6 5 4$ nm

顕微鏡対物レンズ：Plan4 0 倍 ($NA = 0. 6 5$)

顕微鏡接眼レンズ：1 0 倍

光源： $NA \cong 0. 1$

【 0 0 3 2 】

Δf_0 の平均値を近軸焦点位置として、2次の屈折率分布係数 g の値は、
 $g = 3. 1 1 3$ /mm
 であった。

【 0 0 3 3 】

5個の被検レンズの像面湾曲(レンズ光軸からの距離とメリジオナル焦点位置との関係)を図5に示す。点で示されているのが実測データである。同一ロット内でのばらつきは小さく、再現性のあるデータが得られた。像面湾曲のグラフより、米国Sinclair Optics 社の光学設計ソフトウェア「Oslo Six」を用いてフィッティングを行い、
 $h_4 = +1. 6 3 9$

$$h_6 = -3.20$$

$$h_8 = +2.57$$

の値を得た。これらの屈折率分布係数から計算した像面湾曲を、図5において実線で重ねて示す。図5から分かるように、計算値と測定値がよく一致している。このことから、高次の屈折率分布係数 h_4 , h_6 , h_8 を精度よく求めることができ、ロッドレンズの屈折率分布を測定できることが確認できた。

【0034】

【発明の効果】

本発明は上記のように、像面湾曲を測定してフィッティング処理により高次の屈折率分布係数を逆算して求める方法であり、像面湾曲の測定は小口径ロッドレンズでも正確に行うことができるので、回折限界の性能が要求される光学系に用いる場合でも、十分な精度で屈折率分布を評価することが可能となる。

【0035】

また本発明方法は、必ずしもレーザ光源を用いる必要がないため、比較的自由に測定波長を選ぶことができる利点もある。

【図面の簡単な説明】

【図1】

h_4 の値の変化に対する光路と像面湾曲カーブの関係を示す説明図。

【図2】

測定装置の一例を示す説明図。

【図3】

パターン面の例を示す説明図。

【図4】

屈折率分布係数 h_4 , h_6 , h_8 の決定方法を示すフローチャート。

【図5】

屈折率分布係数のフィッティングを示す説明図。

【符号の説明】

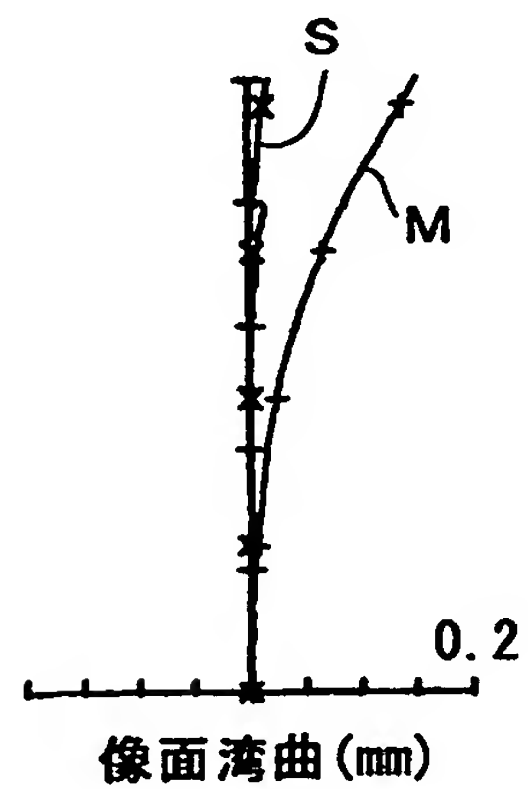
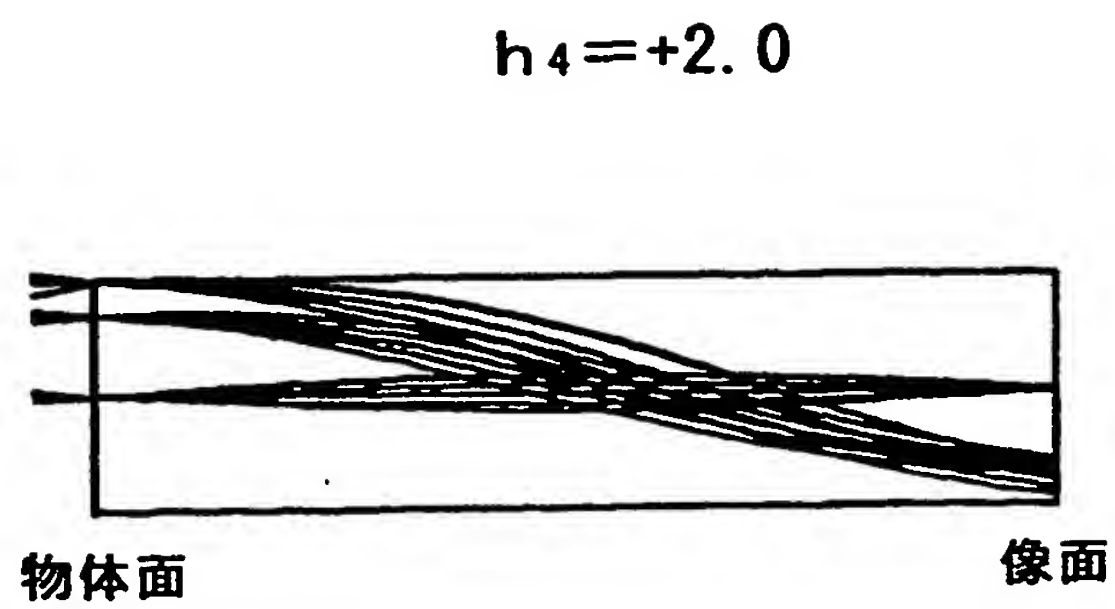
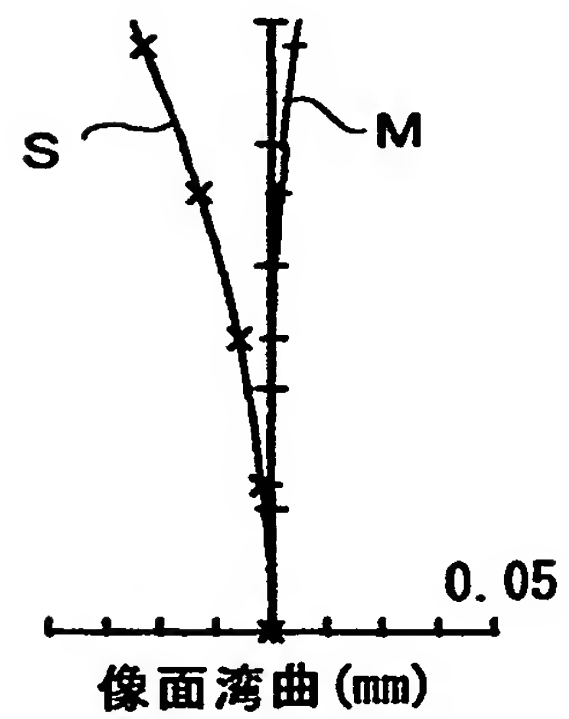
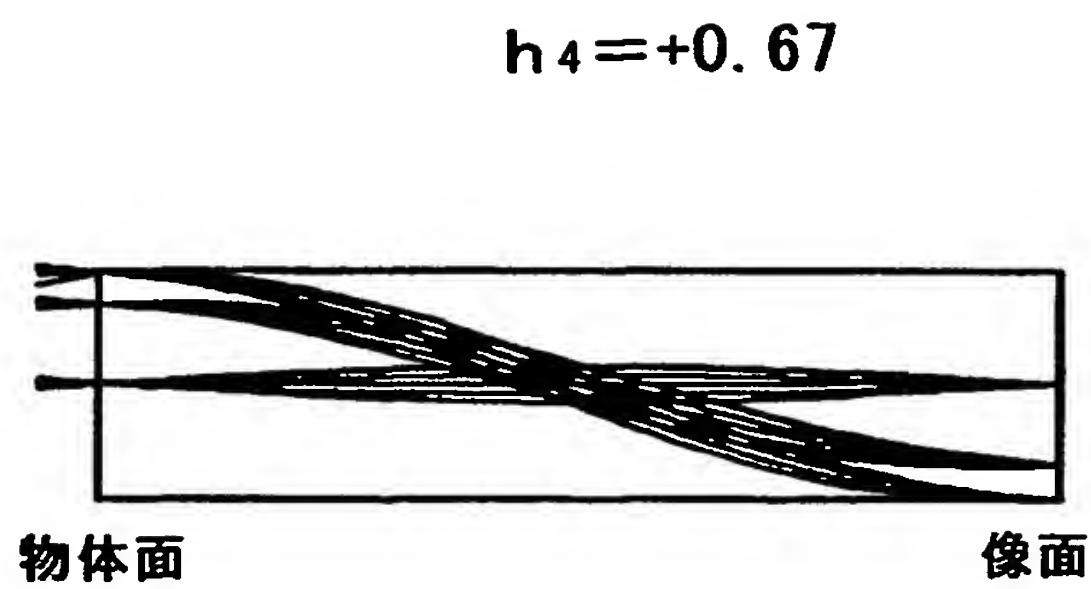
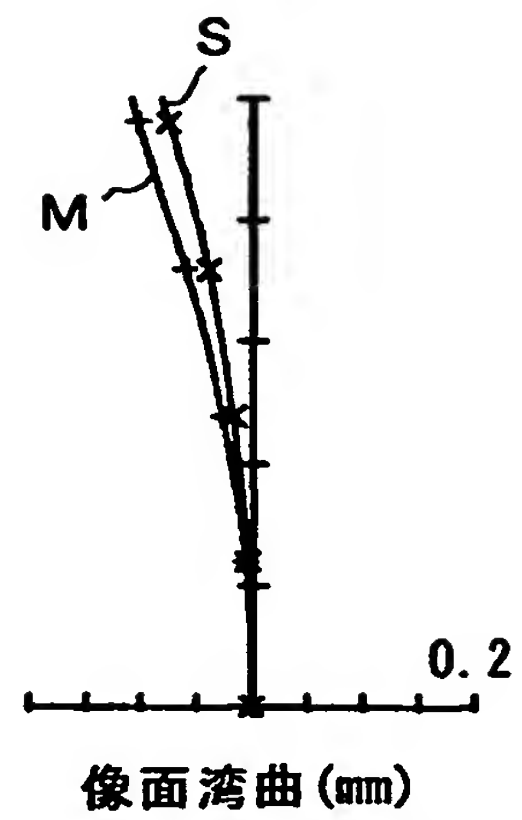
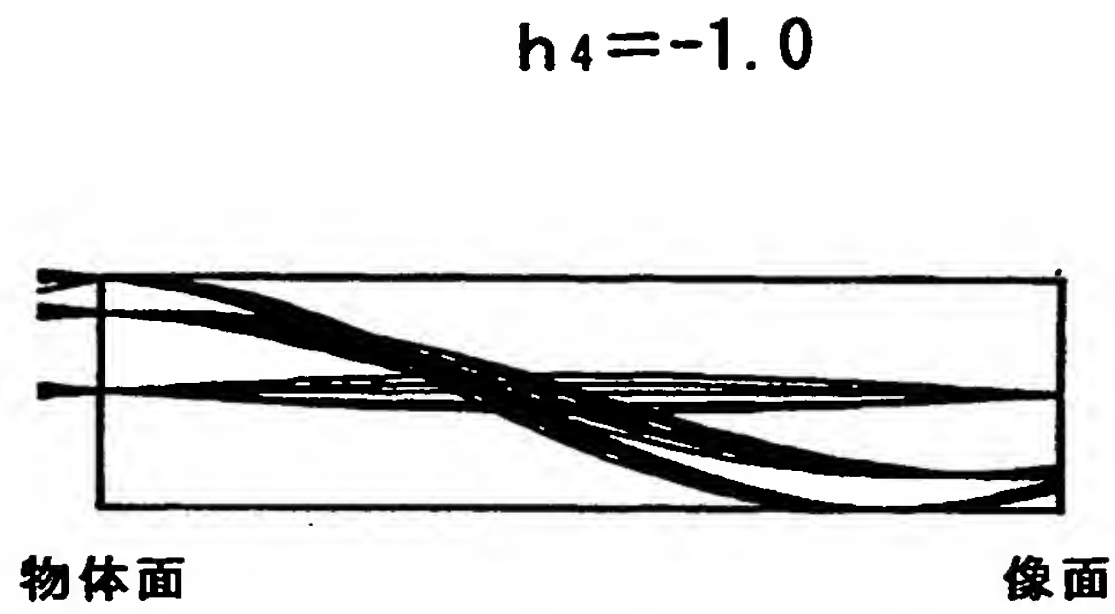
10 ステージ

12 リニアゲージ

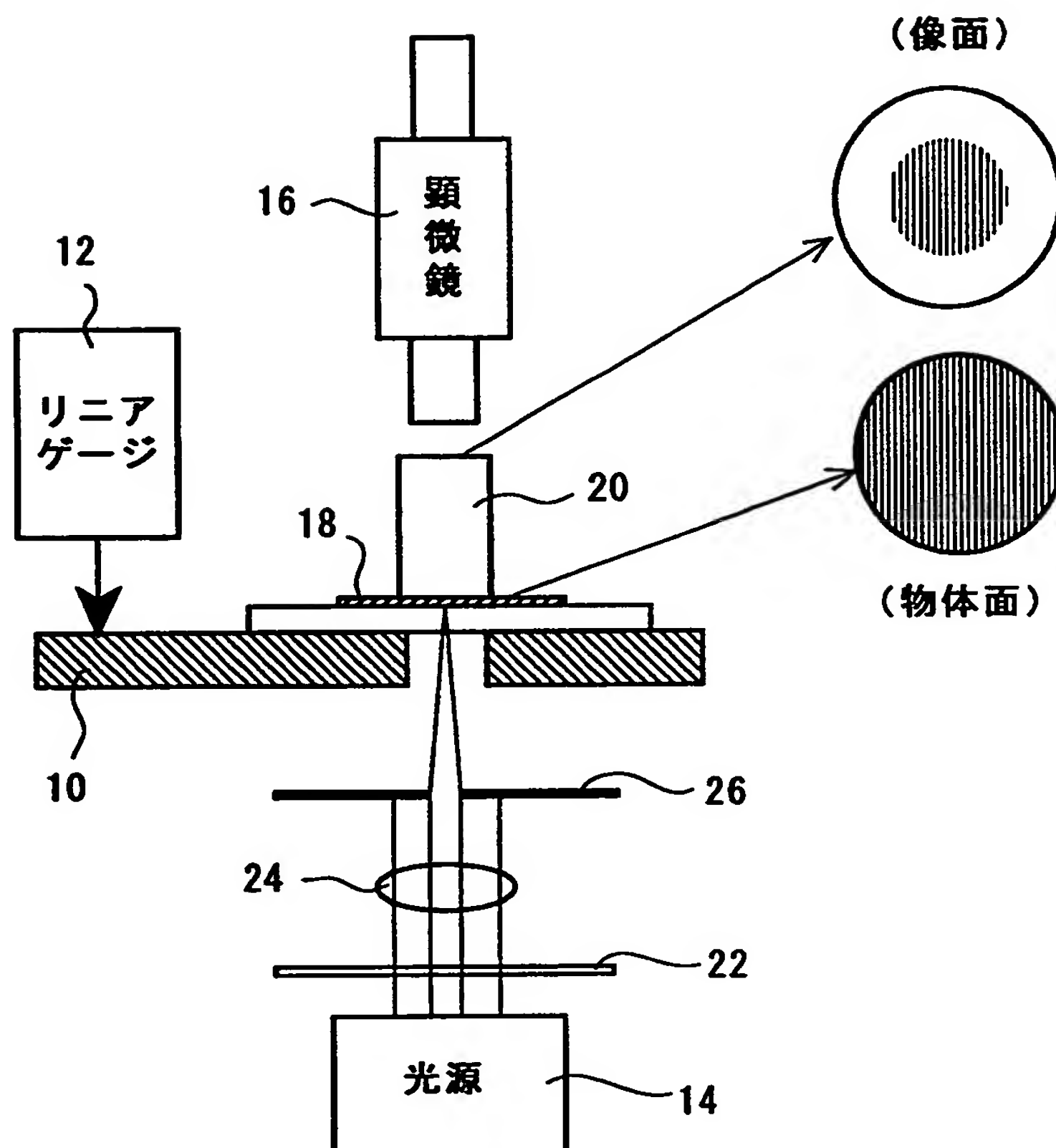
- 1 4 光源
- 1 6 顕微鏡
- 1 8 平行縞状パターン
- 2 0 被検レンズ
- 2 2 干渉フィルタ
- 2 4 集光レンズ
- 2 6 絞り

【書類名】 図面

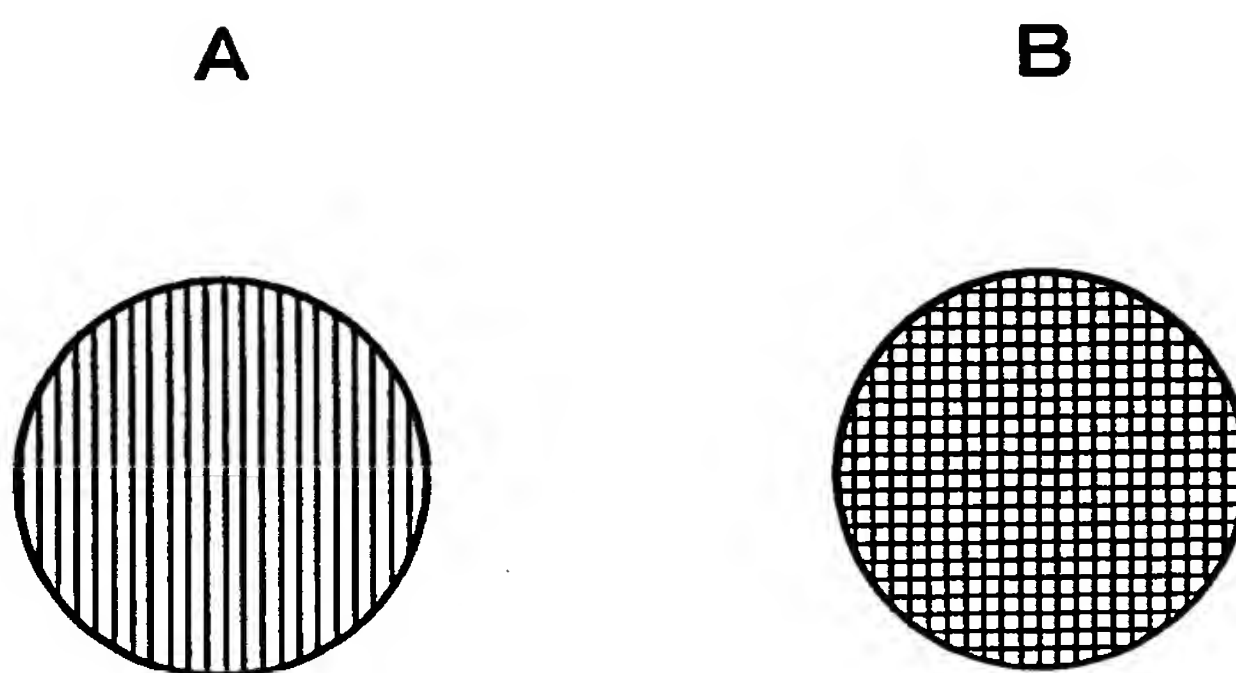
【図 1】



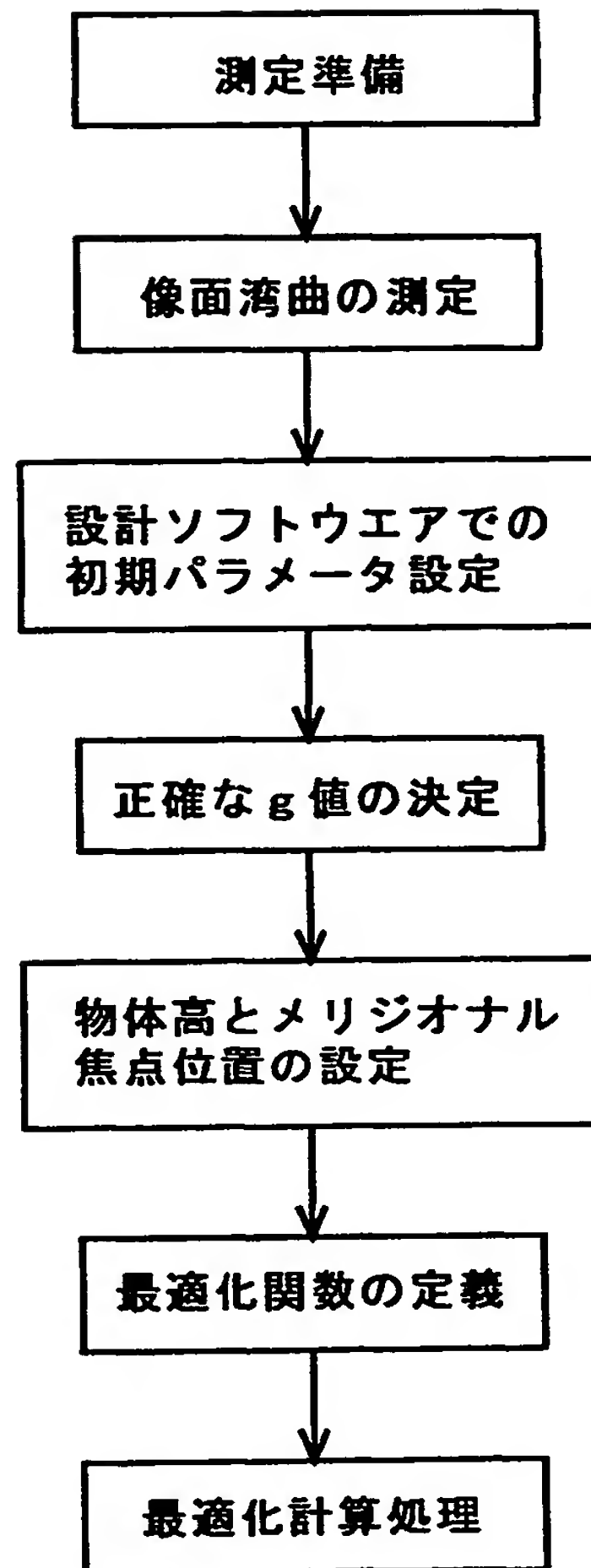
【図 2】



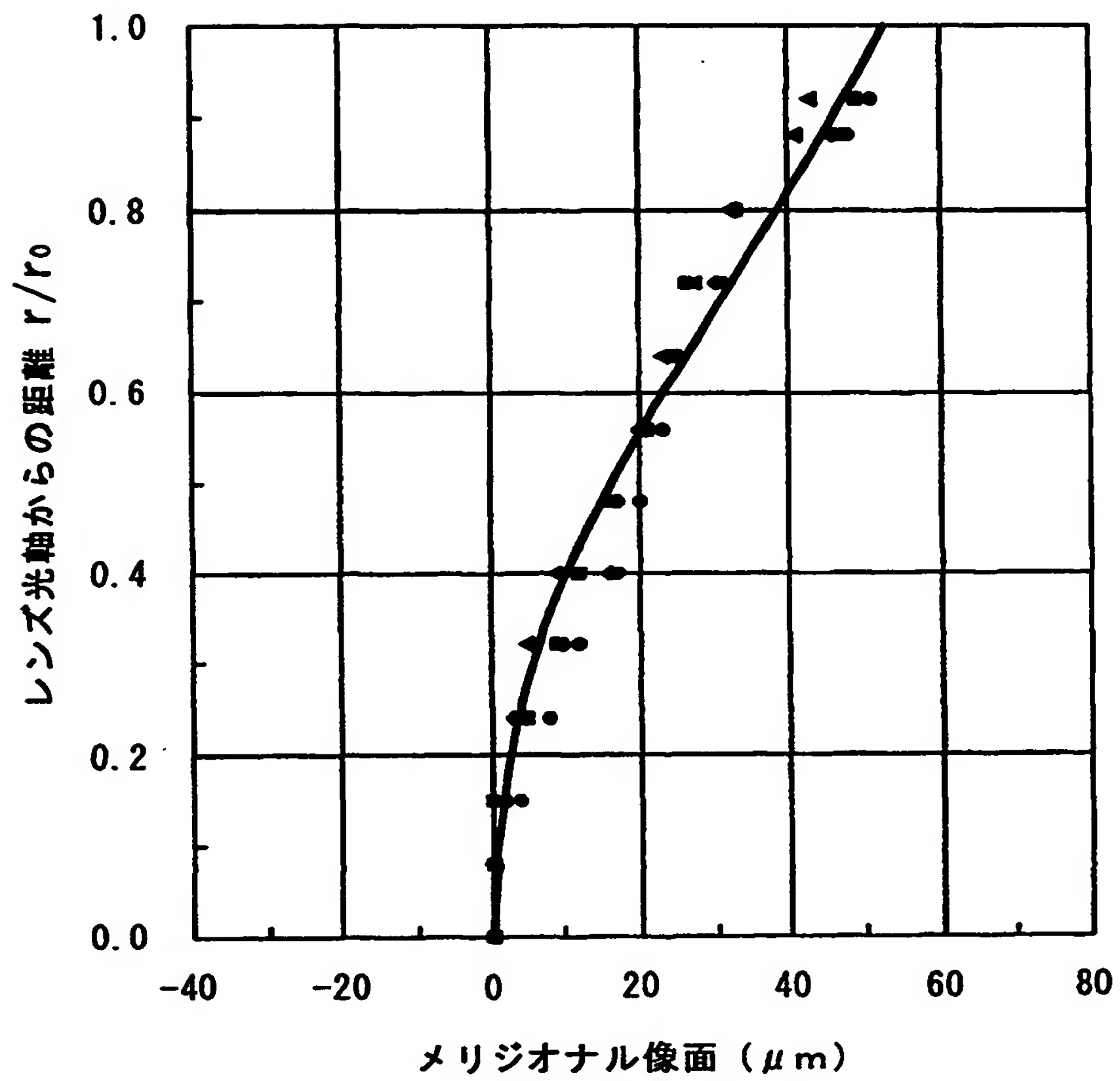
【図 3】



【図 4】



【図 5】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 小口径のロッドレンズであっても高精度で高次の屈折率分布係数を求めることができ、測定波長も比較的自由に選ぶことができるようにする。

【解決手段】 半径方向に屈折率分布を有するロッドレンズについて、その屈折率分布を表す高次の屈折率分布係数を、以下の手順によって求める。

(1) ロッドレンズを、その光軸方向の長さが $P/2$ (但し、 P は近軸における周期長 (ピッチ) を表す) もしくはその整数倍にほぼ等しく、両端面が平面となるように加工する。

(2) ロッドレンズの一方の端面近傍を物体面としてパターン面を設置し、パターン面に集光した単色光を照射することにより、他方の端面近傍に像面を形成する。

(3) 像面を観察して、近軸焦点位置と像面湾曲カーブを求める。

(4) 近軸焦点位置と像面湾曲カーブから、フィッティング処理により高次の屈折率分布係数を逆算して求める。

【選択図】 図 4

認定・付加情報

特許出願の番号	特願2001-033899
受付番号	50100186271
書類名	特許願
担当官	第一担当上席0090
作成日	平成13年 2月13日

<認定情報・付加情報>

【提出日】	平成13年 2月 9日
-------	-------------

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 4 0 0 8]

1. 変更年月日 2 0 0 0 年 1 2 月 1 4 日

[変更理由] 住所変更

住 所 大阪府大阪市中央区北浜四丁目 7 番 2 8 号

氏 名 日本板硝子株式会社